

충남대학교 고고도 우주환경모사 진공설비의 구축 및 성능시험

정성철* · 김연호* · 신강창* · 허환일**

Development and Performance Test of Vacuum Facility at the CNU for High Altitude Space Environment Test

Sungchul Jung* · Younho Kim* · Kangchang Shin* · Hwanil Huh**

ABSTRACT

Vacuum facility is required for high altitude space environment test to develop small thruster. We, at Chungnam National University, developed vacuum test facility up to 10^{-5} torr to simulate 100 ~ 120 km altitude environment. In this paper, we present some preliminary performance test results.

초 록

마이크로 인공위성에 적용 가능한 마이크로 추력기를 개발하기 위해서는 고고도 환경을 모사할 수 있는 진공설비가 요구된다. 본 논문에서는 10^{-5} torr의 진공도를 유지할 수 있는 진공설비를 구축하였고, 이 장비는 100 ~ 120 km의 고도를 모사할 것으로 기대된다. 장치 선정 및 실제 장치 구축 후 진공도 성능 실험을 수행하였고 저진공 펌프를 작동시켜 마이크로 노즐의 성능 실험을 수행, 결과를 비교 분석하였다.

Key Words: Vacuum Test Facility(진공실험장치), High Altitude Space Environment(고고도 우주환경), Prediction(예측), Small Thruster(소형 추력기)

1. 서 론

모든 인공위성의 수명은 자체 자세제어용 추력기와 궤도 천이용 추력기의 수명과 같이 한다. 즉, 추력기의 연료가 모두 소모되면 그 인공위성의 수명이 다 되었다고 말할 수 있다. 이런 점에

서 인공위성의 추력기 개발은 매우 중요한 요소이며 인공위성의 소형화 추세에 맞춰 그에 적합한 마이크로 급의 추력기 개발이 요구된다. 마이크로 추력기의 개발을 위해서는 마이크로 급의 추력을 정확하게 측정할 수 있는 추력측정장치와 고고도 우주환경 모사를 위한 진공설비의 구축이 매우 중요하다. 즉, 인공위성은 지상이 아닌 진공환경에서 운용되기 때문에 진공환경에서 마이크로 추력기의 성능 분석이 중요한 것이다[1].

* 충남대학교 항공우주공학과 석사과정

** 충남대학교 항공우주공학과

연락처, E-mail: hwanil@cnu.ac.kr

2. 고고도 환경모사 진공실험장비 구축

21 목적

진공환경에서 추력측정이 가능한 기술은 (주)한화에서 가지고 있지만 마이크로 인공위성에 적용되는 마이크로 추력기의 추력 측정을 위한 기술은 보유하지 못했다. 충남대학교는 자체 연구를 통하여 마이크로 콜드가스 추력기와 마이크로 추력측정장치(TMS)를 개발한 상태이며, 이를 이용해 인공위성에 적용 가능한 마이크로 추력기 개발을 목표로 하고 있다.

22 진공장치 구성

진공장치의 구성은 크게 메인챔버, 로터리펌프, 디퓨저 펌프, 공기 압축기로 구성하였다. 모든 동작 및 작동 상태는 컨트롤 박스에서 확인할 수 있으며, 두 개의 진공 압력 게이지를 통하여 진공 챔버와 배관의 압력을 실시간으로 확인할 수 있다.

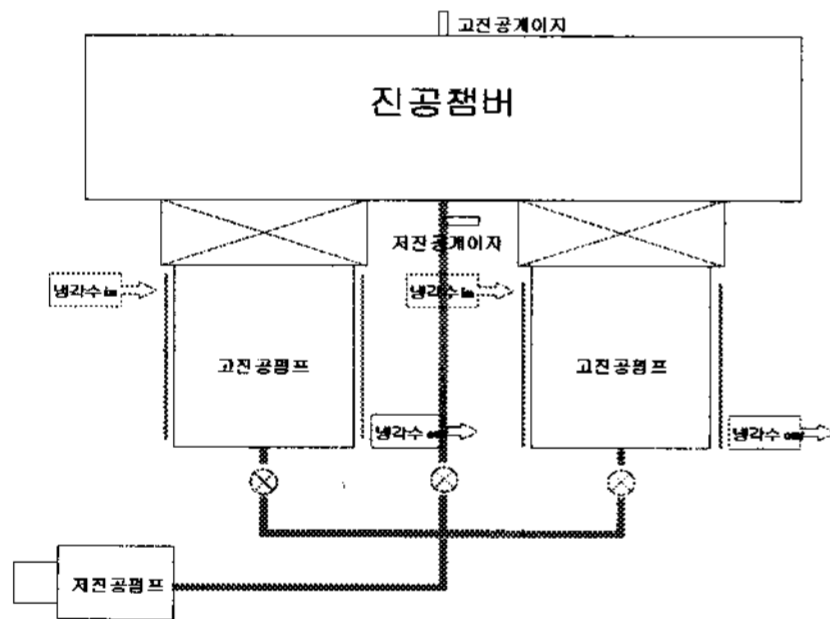


Fig. 1 Schematic of Vacuum Facility

22.1 진공챔버

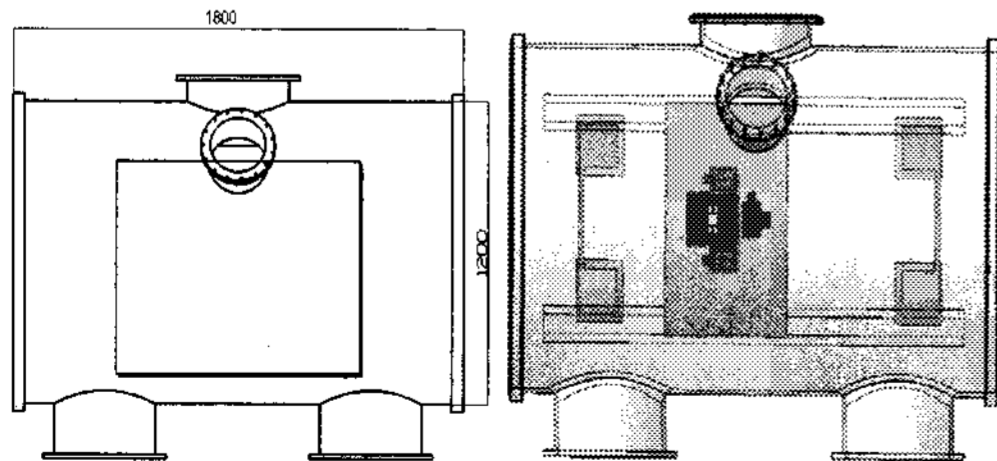


Fig. 2 Vacuum Chamber Drawing

자체개발한 미소추력 측정장치를 장착하기 위해서는 가로 800 mm, 세로 550 mm의 지지대가

들어갈 수 있어야 한다. 지지대의 크기 및 노즐을 통과한 고압가스의 분출범위까지 고려하여 챔버의 크기를 결정하였다.

22.2 진공펌프

진공펌프는 대기압으로부터 10^{-1} Pa 정도의 압력까지 작동하는 저진공펌프와 10^{-1} Pa 이하의 고진공 영역으로부터 초고진공 내지 극고진공 영역까지 작동하는 고진공펌프로 크게 구분된다 [2]. 저진공 펌프를 선정하기 위해서는 먼저 저진공 배기시간을 기준으로 펌프의 배기속도를 결정해야 한다. Eq. 1은 배기속도에 관한 수식이다.

$$S_n = 2.3 \left(\frac{V}{t} \right) \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (1)$$

V : 용기부피 (l)

t : 배기시간 (min)

P_1 : 대기압 (760 Torr)

P_2 : 도달압력 (10^{-2} Torr)

도달압력까지의 요구 배기시간을 20분으로 정하고 Eq. 1에 대입하면 배기속도(S_n)는 약 1140 liter/min으로, 여러 펌프의 성능을 고려한 후 1×10^{-2} torr에서 약 1415 liter/min의 배기속도를 갖는 오일회전펌프(E2M275)를 선정하였다.

펌프의 유효배기속도를 알기 위해서는 진공용기와 진공펌프를 연결하는 파이프를 고려한 Conductance(전도도)를 알아야 한다. Eq. 2는 저진공(760 torr ~ 10^{-2} torr)에서의 Conductance에 관한 수식이고, Eq. 3는 유효배기속도에 관한 수식이다.

$$C_{air} = 182 \frac{D^4}{L} \bar{P} \quad (l/sec) \quad (2)$$

D : 파이프직경 (cm)

L : 파이프길이 (cm)

$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2}$: 평균압력

$$S_{eff} = \frac{C S_p}{(C + S_p)} \quad (3)$$

S_p : 펌프의 배기속도

C : 파이프의 conductance

S_{eff} : 유효배기속도

파이프의 Conductance $C_{air} = 523029.4$ liter/sec, 유효배기속도 $S_{eff} = 1414.9$ liter/min 으로 1×10^{-2} torr에서 Rotary Pump(E2M275)를 이용하여 저진공 배기에 걸리는 시간 $t = 15.4$ min으로 초기에 가정한 20 min보다 시간이 단축된다는 것을 알 수 있다.

고진공펌프는 진공용기 내 진공도가 1.0×10^{-3} torr에 도달하면 내부에 있는 재료로부터 기체 방출(outgassing)이 발생하기 시작하므로 이를 고려해 주어야 한다. 시스템의 요구 진공도는 1.0×10^{-5} torr로 펌프의 유효배기속도는 $S_{eff} = Q/P = 1808$ liter/sec이다. 배기시스템의 유효배기속도는 파이프의 전도도와 밀접한 관계를 갖는다. Eq. 4는 분자류에서의 conductance에 관한 수식이다.

$$C = \frac{12.1D^3}{L + 1.33D} \quad (4)$$

D : 파이프직경 (cm)
 L : 파이프길이 (cm)

고진공펌프의 flange 직경 550 mm, 길이가 800 mm로 conductance $C = 13144.0$ liter/sec이다. Eq. 3에 대입하면 펌프의 배기속도 $S_p = 2096$ liter/sec로 1시간 후에 1.0×10^{-5} torr에 도달하기 위해 필요한 속도이다. 2096 liter/sec보다 더 큰 용량의 펌프를 사용한다면 배기시간은 더욱 단축될 것이다.

23 진공실험장비 구축

충남대학교에서는 위의 계산결과를 이용하여 다음과 같은 진공 실험장치를 구축하였다.

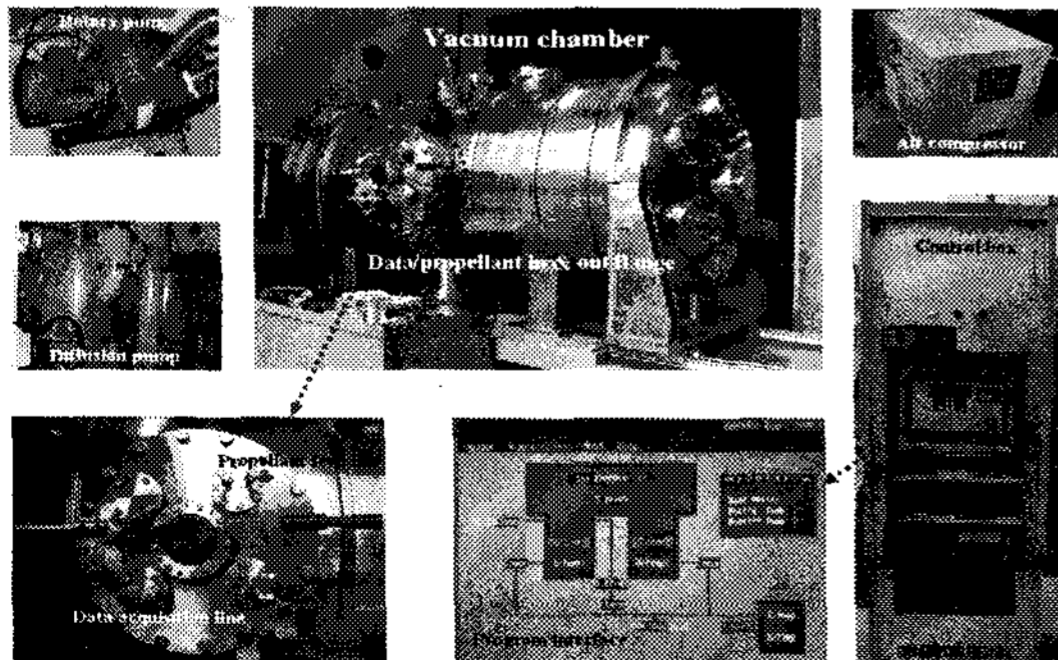


Fig. 3 Vacuum Test Facility at CNU

컨트롤 박스는 펌프의 On/Off, 진공계지를 통한 용기 내 진공도 측정, 파이프 내 밸브개폐

를 컴퓨터로 제어 가능하도록 제작하였다. 추진제 배관과 데이터 라인은 진공을 유지할 수 있도록 제작된 플랜지에 연결하여 기체유입을 차단했다.

Table 1. 장비별 특성

장비명	규격
진공용기	지름 : 1.2m, 길이 : 1.8m 재질 : SUS 304L
저진공펌프 (오일회전펌프)	모델명 : E2M275 배기속도 : 4876 l/min 도달압력 : 3.8×10^{-3} torr
고진공펌프 (오일확산펌프)	모델명 : DDP-22 배기속도 : 12000 l/sec 도달압력 : 1.0×10^{-7} torr
저진공계이지 (피라니계이지)	측정방법 : 기체의 열특성 이용 측정영역 : $760 \sim 10^{-3}$ torr
고진공계이지 (냉음극계이지)	측정방법 : 기체의 이온을 이용 측정영역 : $10^{-2} \sim 10^{-12}$ torr

24 진공용기 내 진공도 측정실험

진공환경에서의 마이크로 노즐의 성능실험에 앞서 여러 번의 진공도 측정실험을 수행하여 요구 진공도에 맞는지 확인해 보았다[Fig. 4, 표 2].

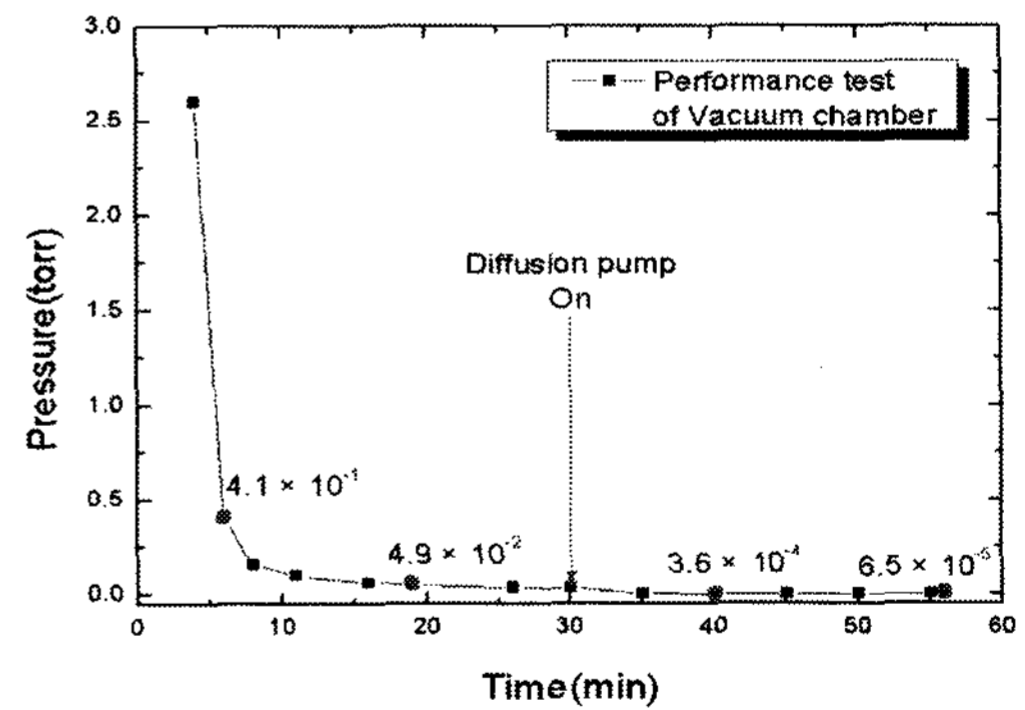


Fig. 4 Degree of a Vacuum

Table 2. 압력별 고도

Pressure(torr)	Altitude(km)
4.1×10^{-1}	52
4.9×10^{-2}	70
3.6×10^{-4}	97
6.5×10^{-5}	108

확산펌프는 최적의 상태에서 진공도를 낮추고 자 예열시간으로 30분을 사용하였다. 그 결과 확산펌프 사용시간 30분 만에 6.5×10^{-5} torr에 도달하였다. 목표진공도 1.0×10^{-5} torr에는 미치지 못하지만 고도 10 km의 차이는 마이크로 노즐의 성능실험에는 무리가 없을 것으로 예상된다.

24 진공환경에서의 마이크로 노즐 성능실험

추진제로는 질소를 사용하였고, 노즐은 노즐목 직경이 1 mm, 팽창비 4인 모델을 사용하였다. Fig. 5와 <표 3>은 용기 내 진공도가 5.0×10^{-2} torr에서 마이크로 노즐을 통해 고압가스를 분사하여 진공도가 어느 한 점에 수렴할 때까지 측정한 결과이다.

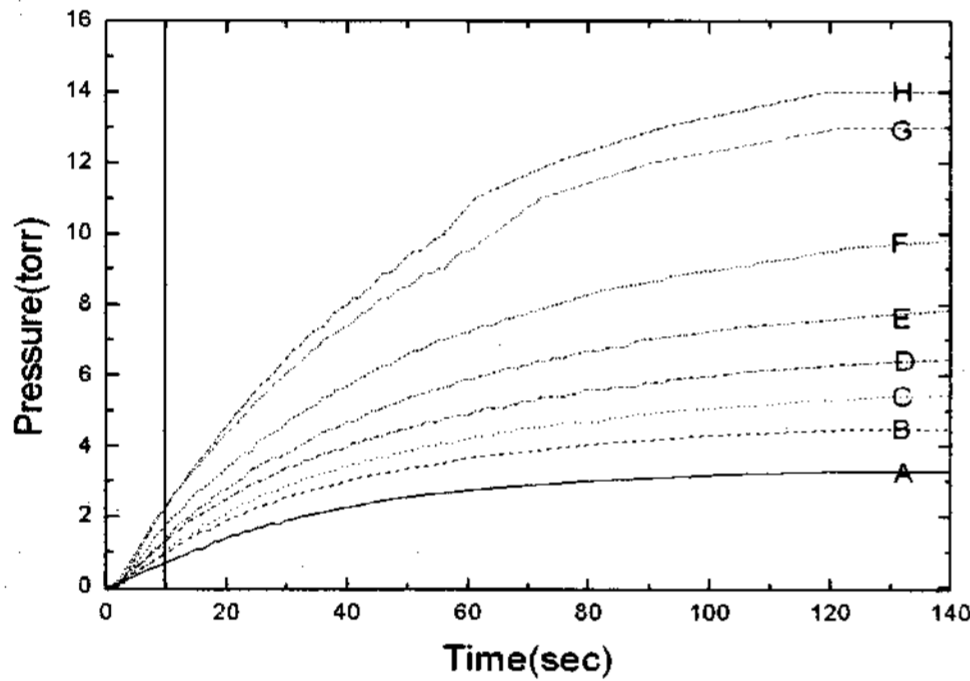


Fig. 5 Degree of Vacuum with Supply Chamber Pressure

Table 3. 추진제 공급압력별 실험결과

구분	Chamber Pressure(bar)	10초 후 진공도(torr)	수렴 진공도(torr)
A	2.1	7.1×10^{-1}	3.4
B	2.9	9.8×10^{-1}	4.5
C	3.4	1×10^0	5.6
D	4.0	1.3×10^0	6.7
E	4.7	1.4×10^0	8.2
F	5.6	1.8×10^0	10
G	7.1	2.3×10^0	13
H	7.6	2.3×10^0	14

노즐 공급 압력이 높아질수록 질유량이 많아져 수렴 진공도가 높아진다. 실험시에는 약 10초간 분사하는데 10초까지의 진공도를 보면 크게 무너지지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 실험에

이용된 노즐보다 더 작은 0.25 mm 노즐을 사용한다면 진공도는 실험 진공도에서 크게 무너지지 않을 것으로 예상된다.

(주)한화에서의 실험결과와 비교한 결과 큰 차이 없이 이론값에 유사하게 나온다는 걸 확인할 수 있었다[Fig. 6]. 자체 구축한 실험 장치에서 고고도 환경모사 실험을 수행하는데 문제가 없다고 판단된다.

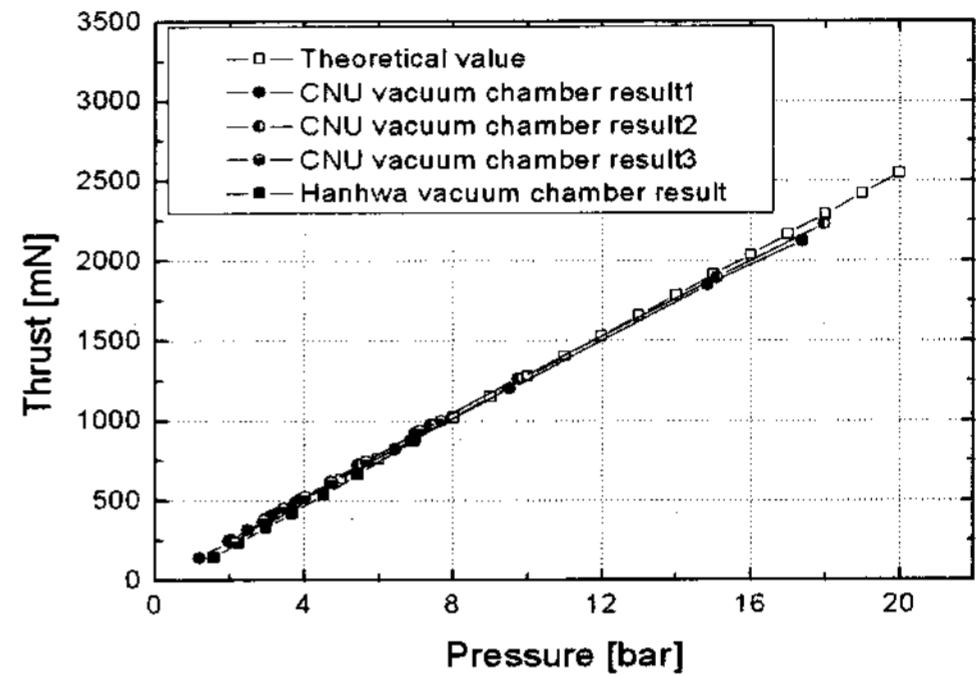


Fig. 6 Comparative Study of Thrust Test

3. 결 론

마이크로 인공위성의 추력기 개발을 위해서는 진공환경에서의 실험이 요구된다. 이에 충남대학교에서는 자체 진공실험장치를 구축하였다. 마이크로 노즐의 실험결과를 (주)한화의 실험과 비교해 보고 자체 구축한 진공실험장치를 신뢰해도 된다는 판단을 내리게 되었다. 이번에 구축한 진공실험장치는 마이크로 노즐의 성능실험 뿐만 아니라 고체로켓에 대한 고고도 연소실험, 인공위성에 탑재되는 부품의 신뢰성 및 안전성 실험 등 그동안 기업과 연구소에서만 가능했던 실험을 대학 실험실에서도 가능하게 한다는 점에서 다양한 응용이 예상된다.

참 고 문 헌

1. 정성철, 신강창, 이민재, 김혜환, 허환일, "우주환경모사 진공실험 시설에서의 미소추력측정방법", 한국추진공학회 추계학술대회 논문집, 2006, pp. 67-70
2. 배석희외 4인, "진공공학", 2000, pp. 153-154